

ИЗМЕНЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ КОЛЕБАНИЙ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕНОПОЛНИТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ КОНСТРУКЦИОННОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ

Проблему повышения долговечности металлоконструкций подъемно-транспортных машин можно решать с помощью конструкционного демпфирования. В работе приводятся результаты моделирования и экспериментальной проверки целесообразности использования низко модульных пеноматериалов в качестве наполнителей при конструкционном демпфировании тонкостенных элементов металлоконструкций. В результате исследований было выявлено значительное увеличение логарифмического декремента затухающих колебаний запененной конструкции, что позволяет прогнозировать снижение числа циклов и уменьшение времени затухания колебаний металлоконструкции с наполнителем. Таким образом, показана целесообразность дальнейших исследований по использованию энергоемких пеноматериалов для демпфирования элементов конструкций подъемно-транспортных машин.

Ключевые слова: демпфирование, эксперимент, время затухания, наполнитель, металлоконструкция, подъемно-транспортные машины.

CHANGE OF THE ATTENUATION TIME OF VIBRATIONS OF THE METAL STRUCTURE FROM THE USE OF FOAM FILLER AS A DESIGN DAMPING

The problem of increasing the durability of metal structures of hoisting machines can be solved by structural damping. The paper presents the results of modeling and experimental verification of the feasibility of using low-modulus foams as fillers in structural damping of thin-walled elements of metal structures. As a result of the research, a significant increase in the logarithmic decrement of damped oscillations of the foam structure was revealed, which allows predicting a decrease in the number of cycles and a decrease in the damping time of the metal structure with a filler. Thus, the expediency of further studies on the use of energy-intensive foams for damping structural elements of lifting and transport machines is shown.

Keywords: damping, experiment, damping time, filler, metal structures, lifting and transport machines.

Изучение связей и закономерностей подъемно-транспортных процессов осуществляется с целью решения задач по созданию новых и совершенствованию существующих машин, обладающих повышенной производительностью, технологичностью, большей долговечностью и обеспечивающие лучшие условия труда.

Проблему повышения долговечности и безопасности эксплуатации подъемно-транспортных машин решают путем снижения динамики и повышения прочности. Для снижения динамики используют частотные электродвигатели с плавным изменением ускорений на пуско-тормозных режимах, гашение колебаний груза [1] и другие способы. Рассмотренные способы представляют

собой сложные электро- и гидромеханические системы.

В настоящее время пенометаллические изделия применяются при демпфировании металлических конструкций в автомобильной и аэрокосмической отраслях [2], а также в станкостроении [3]. Данные пенометаллы обладают сравнительно небольшой плотностью, порядка 500 кг/м^3 , и улучшают демпфирующие свойства пенонаполненной трубы [3]. Однако наиболее популярные способы получения пенометаллов — литье или порошковая металлургия, что увеличивает стоимость конструкции и усложняет технологичность. Предложен простой способ конструкционного демпфирования пролетных и консольных строений металлоконструк-

ций — использование монтажной пены в качестве наполнителя.

Цель исследования заключается в определении изменения числа циклов и времени затухания колебаний консольной металлоконструкции вычислительным и экспериментальным методами при конструкционном демпфировании нискомодульными пенонаполнителями.

Расчетная и экспериментальная часть исследования

Ранее [4] для теоретической оценки логарифмического декремента затухания δ_2 была выведена формула (1), позволяющая вычислительным способом найти логарифмический декремент затухающих колебаний конструкции, внутренняя полость которой запенена легким наполнителем, весом которого можно пренебречь по отношению к весу всей конструкции (рассматривалась монтажная пена плотностью $\rho \approx 25 - 30 \text{ кг/м}^3$):

$$\delta_2 = \frac{1}{\omega_2} \sqrt{(\delta_1 \omega_1)^2 + \omega_1^2 - \omega_2^2}, \quad (1)$$

где ω_1 и ω_2 — собственные частоты пустой и запененной балки, а δ_1 — логарифмический декремент

колебаний полой конструкции без наполнителя. Данный декремент характеризуется как отношение соседних амплитуд i -го и $(i + 1)$ -го колебаний под знаком логарифма $\delta = \ln(x_i/x_{i+1})$.

Значения данного декремента берут из испытаний конструкции в целом, поэтому он учитывает не только потери энергии металлических конструкций, но и трение в механизмах. Например, для коробчатых пролетных строений мостовых кранов существуют некоторые рекомендации по значениям логарифмического декремента колебаний $\delta = 0,05 - 0,12$ [5].

Собственные частоты пустой и запененной балки, ω_1 и ω_2 , соответственно, можно получить с помощью компьютерного моделирования конструкции методом конечных элементов в вычислительном пакете SolidWorks Simulation. В табл. 1 представлены результаты численных экспериментов собственной частоты пустой и запененной балки коробчатого сечения в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от толщины стенки. Расстояние между стенками $48,2 \times 24,2 \text{ мм}$, длина консоли 600 мм. Материал реальной консоли Ст3сп был заменен на немецкий аналог DIN1.0116

Таблица 1

Собственные частоты ω при разной толщине стенки s

Толщина стенки s	Горизонтальная плоскость		Вертикальная плоскость	
	Пустая	Запененная	Пустая	Запененная
0,2	78,913	77,390	139,560	136,660
0,4	79,617	78,887	140,240	138,770
0,6	80,334	79,828	140,940	139,960
0,8	81,011	80,621	141,630	140,870
1,0	81,108	80,798	142,320	141,710
1,2	82,402	82,146	143,000	142,500
1,5	83,451	83,254	144,030	143,630

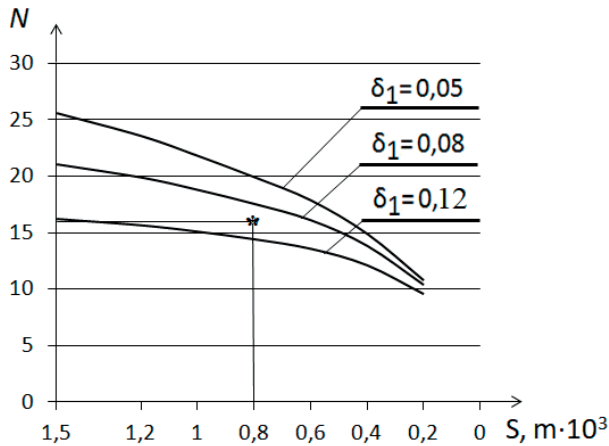


Рис. 1. Изменение числа колебаний N в зависимости от толщины стенки s

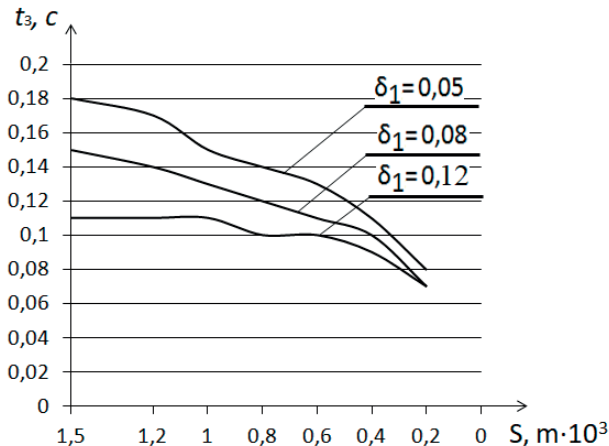


Рис. 2. Изменение времени затухания t_3 в зависимости от толщины стенки s

Результаты обработки экспериментальных данных

Показатель	Горизонтальная плоскость		Вертикальная плоскость	
	Пустая	Запененная	Пустая	Запененная
Декремент δ	0,08	0,095	0,08	0,14
Частота ω , Гц	53,33	45,71	96	73,85
Число значимых циклов N , шт	29	24	29	16
Время затухания T_3 , с	0,54	0,53	0,3	0,22

(S235J2G3), потому что в вычислительном пакете SolidWorks можно использовать только импортные аналоги. Способ закрепления — жесткая заделка с одной из сторон.

На основании полученных данных (табл. 1) и зависимости (1) построены графики изменение числа значимых циклов N и времени затухания t_3 в вертикальной плоскости в зависимости от изменения толщины стенки металлоконструкции (рис. 1, 2). Данные графики построены при различных начальных значениях логарифмического декремента δ_1 . Под числом значимых циклов N понимаем число циклов, пока отношение изначальной амплитуды и последней не достигнет 10 %: $N = -\ln(0,1)/\delta$. Время затухания t_3 свободных колебаний рассчитывается как произведение числа значимых циклов N на период колебаний T : $t_3 = N \cdot T$.

Для оценки достоверности зависимости (1), выведенной аналитически, в лаборатории технической диагностики Института машиноведения УрО РАН был проведен практический эксперимент по определению опытного значения логарифмического декремента затухания пустой δ_1 и запененной δ_2 конструкции. Испытывалась балка при вышеописанных характеристиках, но при постоянной толщине $s = 0,8$ мм. При записи эксперимента использовалась высокоскоростная записывающая камера в сотовом телефоне с частотой съемки

960 Гц. Обработанные результаты экспериментов представлены в табл. 2.

На рис. 1 представлены экспериментальные данные о числе значимых циклов колебаний балки в вертикальной плоскости. Данные значения помечены на графике знаком *, которые оказались близкими к расчетным значениям. Уменьшение числа циклов свободных затухающих колебаний, возникающих при переходных процессах в машинах периодического действия, повысит общую долговечность металлоконструкции.

Выводы

1. Демпфирование пенонаполнителем позволяет уменьшить число колебаний и время затухания и повысить логарифмический декремент конструкции.

2. Проверенная экспериментом аналитическая зависимость (1) может использоваться для прогноза числа циклов, времени затухания и его декремента других запененных конструкций.

3. Снижение общего числа циклов рассчитываемой металлоконструкции при незначительном увеличении веса положительным образом скажется на увеличении долговечности конструкции в целом.

4. Уменьшение толщины стенки поперечного сечения балки ведет к повышению эффективности способа конструкционного демпфирования с использованием энергоемкого наполнителя.

Список литературы

1. Щербаков В. С. Активный способ гашения колебаний груза после остановки мостового крана / В. С. Щербаков, М. С. Корытов, Е. О. Шершнева // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2016. — № 6. Т. 17. — С. 368–374. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26283193> (дата обращения: 05.11.2019).
2. Крушенко Г. Г. Технологии и механизм формирования пенометаллов и их применение в летательных аппаратах II / Г. Г. Крушенко // Вестн. Сибир. гос. аэрокосм. ун-та им. академика М. Ф. Решетнева. — 2014. — № 1 (53). — С. 154–161. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21458687> (дата обращения: 05.11.2019).
3. Strano M. Endurance of Damping Properties of Foam-Filled Tubes / M. Strano, A. Marra, V. Mussi, M. Goletti, P. Bocher // Materials. — 2015. — № 8 (7). — P. 4061–4079. — DOI 10.3390/ma8074061.
4. Mironov V. Two Approaches to the Problem of High-cycle Fatigue of Materials and Structures / V. Mironov, O. Lukashuk, D. Ogorelkov // MATEC Web of Conferences. — 2019. — Vol. 253. — DOI 10.1051/mateconf/201925301004.
5. Соколов С. А. Строительная механика и металлические конструкции машин / С. А. Соколов. — Санкт-Петербург: Политехника, 2011. — 450 с.